

Gerincdeformitás és biomechanika – történeti áttekintés Leonardótól a „da Vinci szoftverig”

Molnár Szabolcs Lajos¹, Szabó Ferenc János², Skapinyecz János³, Skapinyecz Róbert⁴

¹Hospital Ernest Lluch, Calatayud, Aragon, Spanyolország

²Miskolci Egyetem, Gép-és Terméktervezési Tanszék

³B-A-Z megyei Oktatókórház, Idegsebészeti Osztály, Miskolc

⁴Miskolci Egyetem

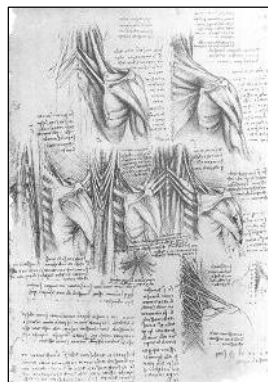
szabolcsmolnadr@gmail.com

A gerincdeformitás kezelése Nicolas Andry óta tartozik az Ortopédia keretei közé, amelynek az azt megelőző történetéről egy korábbi közleményünkben értekeztünk²³. Jelen munkánk célja a gerincdeformitás és biomechanika közös fejlődésének áttekintése Leonardo da Vincitől napjainkig.

A **reneszánsz** korában a tudományok új lendületet kaptak. Felfedezték az ókori görög és latin tudományos alkotásokat – amelyeket az arab könyvtárak őriztek - és külön oktatási és tudományos disciplinává vált az anatómia³⁵. Ekkor alakult ki a biomechanika, amelyben az anatómiát, matematikát és mechanikát kapcsolták össze. Ezen új tudományág evolúcióját a későbbiekben segítette az a tény, hogy egyre nagyobb figyelmet fordítottak a járás és az izmok működésének elemzésére²⁴.

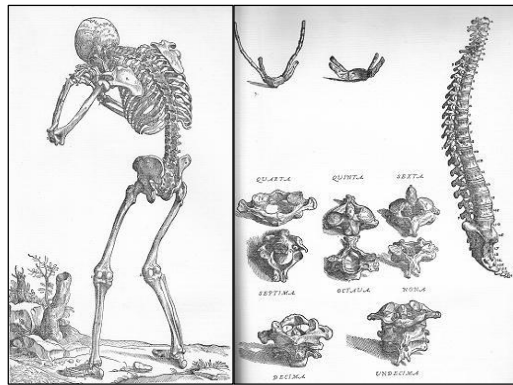
Ennek a kornak az felülmúlhatatlan zsenije **Leonardo da Vinci** (1452-1519), polihisztor, aki évszázadokkal előremutató gondolatokat fogalmazott meg; úttörő kutatásokat és tanulmányokat végzett. Da Vinci művészként lett világhírű, de elsősorban mérnökként dolgozott és mérnöki munkáiból élt. A mechanika fejlődéséhez nagyban hozzájárult számos mérnöki munkájával, felfedezésével. Értette és használta az erő vektor fogalmát, a súrlódási együtthatót és a szabadesést. Meg akarta érteni az izmok működését – több mint 750 rajzot készített 10 cadaver anatómiai boncolása során. Ezeken a részletes rajzokon ábrázolta az ízületek, izmok, csontok, szalagok, inak és a porc dinamikus működését¹⁴.

Szemléletét jellemzi „De Figura Humana” című könyve, amelyben mechanisztikus irányból közelítette meg az emberi testet^{13, 35}. Elemezte az emberi test, gerinc által létrehozott stabilitását; az emelőkarok szerepét a mozgásban, valamint a járást (1. ábra).



1. ábra. Leonardo da Vinci „De Figura Humana” könyvéből a gerinc ábrázolása

Andreas Vesalius (1514-64), a belga anatómus, 1543-ban jelentette meg „De Humani Corporis Fabrica” című részletes anatómiai könyvét², ami az általuk addig ismert anatómiai leírások legintegráltabb és legpontosabb összefoglalása (2. ábra). A gerincet aprólékos részletességgel írja le, új ismereteket rendelve a discus intervertebralisokhoz²⁴.



2. ábra. Vesalius De Humani Corporis Fabrica

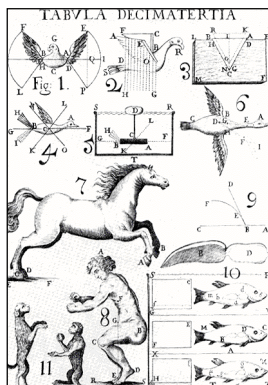
A reneszánsz korban élő **Ambroise Paré** (1510-90) volt az első, aki fűzőkezelést végzett. Az általa kiadott 17. könyv tartalmazza a scoliosisról való értekezését⁴³. A felnőtt betegeknek Hippocrates módszerét ajánlotta – **húzás közben spinalis manipuláció** –, de gyerekeknek Ő javasolt először fűző kezelést²³.

Galileo Galilei (1564-1642) a medicina elsajátítása után lett fizikus és alapvetően befolyásolta kora biomechanikájának fejlődését. A Pádai Egyetem oktatójaként a természet törvényeinek megértéséhez a matematikát nélkülözhetetlennek tartotta. A csontok mechanikai tulajdonságait vizsgálva hozta létre a kineziológia alapjait⁷.

Rene Descartes (1596-1650) francia filozófus, elsősorban a fájdalom élettanával foglalkozott, Galilei tanait követte és az emberi szervezet működését tisztán mechanikusan szemlélte. L'Homme című munkáját 1633-ban fejezte be, de amikor hírt kapott az általa nagyon tisztelt Galilei inkvizíciójáról, elégette azt. Latin nyelvű kiadása 1662-ben jelent meg. Tanulmányai indirekt módon járultak hozzá a biomechanika fejlődéséhez³.

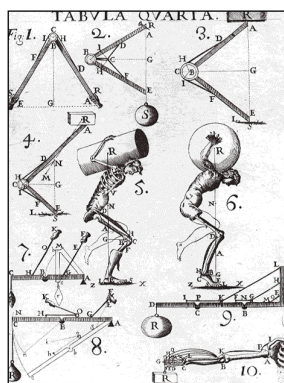
Francis Glisson (1597–1677), Londonban a „Királyi Társaság” tagjaként heti rendszerességgel tartott kollégáival megbeszéléseket. Hét társával együtt 1650-ben adta ki „De Rachitide” címmel értekezését, amelyben elemzi a betegségben létrejött gerincdeformitást⁹.

Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) matematikus, fizikus volt az első, aki a mechanika törvényeit medicinális keretek közé foglalva megalkotta a „iatromecanica” fogalmát, amely az orvostudományban alkalmazott mechanikai sajátosságokat foglalta össze. Galilei tanait sajátította el Galilei egyik tanítványától (Castellitól). A Pisai Egyetemen, mint professzor találkozott Malpighivel, akivel rendkívüli módon inspirálták egymást határterületük fejlődésében. A gerinccel kapcsolatban felállította a „rotációs és translációs egyensúly” téziseit²⁴. Krisztina, svéd királynő által posthumus kiadott „De Motu Animalium” című könyve számít az első biomechanikai könyvnek³⁵. A 3. ábrán is látható, a gerinccel kapcsolatos mechanikai modellezése.



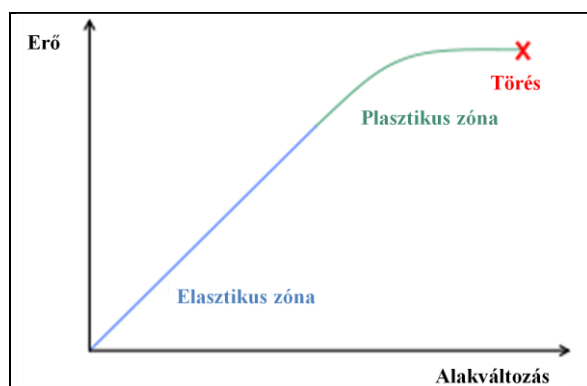
3. ábra. Vázlatok Borelli „De Motu Animalium” című posthumus kiadott könyvéből

Borelli pontos számításokat végzett a spinalis izmokkal és intervertebralis discusokkal kapcsolatban is. Vizsgálta a stabilitást, az eredő erőket és Ő volt az első, aki kísérletesen meghatározta a súlypontot (4. ábra), **valamint** 200 évre elég lendületet adott a biomechanikának.



4. ábra. Biomechanikai számítások a különböző helyzetekben

Robert Hooke (1635-1703) írta le az elasztikus és plasztikus deformáció valamint a szakítópont (ultimate failure) törvényét²⁴, amelyet a mindennapi ortopéd sebészi gyakorlatban leggyakrabban az ín-izom és szalag-szakadásoknál valamint a műtéti implantátum rendszerek és csont közötti kölcsönös deformálódásnál láthatunk, tapasztalhatunk⁴⁵. A biológiai szövet alakváltozását leíró jól ismert grafikon az 5. ábrán: alakváltozás (deformálódás) az alkalmazott erő függvényében¹⁹.

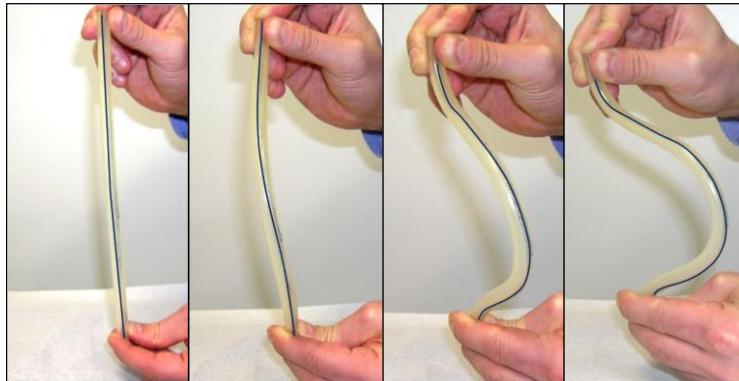


5. ábra. Alakváltozás (deformálódás) az erő függvényében

Isaac Newton (1642-1727) kiemelkedő fizikus volt, a biomechanika fejlődéséhez indirekt módon járult hozzá: a fizikai törvények leírásához használt matematikai szemlélettel (integrálás, deriválás)

forradalmi újításokat vezetett be. Az általa definiált kinetikai és dinamikai tételek (I., II., III-as tétel) szolgáltak alapul a későbbiekben a biomechanika mozgások, kölcsönhatások leírásához²⁵.

Leonhard Euler (1707-1783), rendkívül termékeny és sokoldalú tudós, akinek nevével középiskolás matematika tanulmányaink során találkozhattunk először (számelmélet, analitikus geometria, trigonometria)²⁹. Példaértékű azon szintetizálási képessége, amellyel a svájci, orosz majd orosz szemléletet elsajátította és gyakorlati problémákra kereste az elméleti választ (pl. a Königsbergi hidak ihlette gráfelmélet és Euler tétel kidolgozása). 1736-ban publikálta a „Mechanica Sive Motus Scientia Analytice Exposita-t”, amelyben analitikus megközelítéssel vizsgálta a mechanikát és a mozgást. Leírta a csigolyákra ható kompressziós erő fogalmát, amely bizonyos körülmények között instabilitáshoz vagy mechanikai elégtelenséghez vezethet¹⁷. 1757-ben határozta meg a rugalmas kihajlás differenciálegyenletét. A kihajlás az a mechanikai jelenség, amely keresztmetszetéhez képest hosszú egyenes rúd (jelen esetben gerinc) tengelyébe eső, megfelelően nagy nyomóerő hatására bekövetkezik. A nyomóerő növelésével egy bizonyos kritikus értéknél a rúd elgörbül, kihajlik, majd eltörik. A rúd merőleges kis nyomóerő esetén a nyomott rúd meggörbül, ugyanakkor stabil egyensúlyi helyzetben van²⁶. A törvényt a magyar származású Tetmajer Lajos egészítette ki a plasztikus kihajlás meghatározásával, ami már alkalmas a gerincdeformitások rugalmassági modelljeinek kalkulálásához³⁷. Gyakorlati jelentőségét a 6. ábrán szemléltetjük.



6. ábra. Euler-Tetmajer féle kihajlás. Fokozatos nyomóerőt létrehozva először „sagittalis görbület” majd „axiális rotáció” jön létre. Az elvi „dorsalis rész” görbül és csavarodik jobbra. Kék vonallal ábrázoltuk a processus spinosusok elméleti helyzetét.

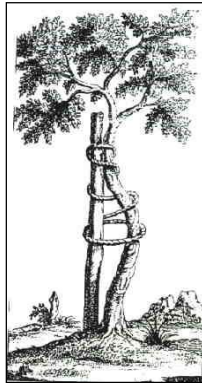
A fenti elvek mellett tisztázták a különböző típusú kihajlásokat. Ez számunkra azért fontos, mert ezáltal alkalmas a *flexiós-torsiós*, valamint a *lateral-torsiós* kihajlás modellezésére is.

A *flexiós-torsiós* kihajlás kompressziós hatás mellett jön létre, hajlás és csavarodás eredményeként, például láncban álló elemek, valamint kettős görbületek esetén.

A *lateral-torsiós* elhajlás akkor jön létre, amikor egy szimpla rudat flexióban terhelünk úgy, hogy a tetején nyomást, az alsó részén pedig tensziós feszültséget hozunk létre (vagyis megtartjuk fix pontként).

Ezen törvények alkalmasak a rotációval kísért görbületek kialakulásának leírására.

Nicholas Andry (1658-1742), francia gyermekgyógyász, 1741-ben adta ki könyvét az „Orthopaedia-ról” (7. ábra), amely alapként szolgált a későbbi nemzedékek ortopédiai tanulmányainak és tankönyveinek¹⁶. Ő aszimmetrikus izom feszülést feltételezett a scoliosis hátterében és pihentetéssel, felfüggesztéssel, posturális gyakorlatokkal és párnázott korzettel végezte a scoliosis kezelését³².



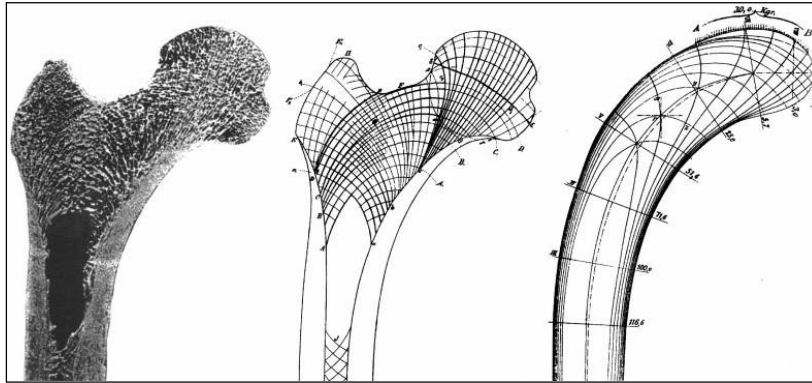
7. ábra. Az Ortopédiai Tankönyvekből 1741 óta kihagyhatatlan szimbólum

Andry feltételezése a 20 század második felében nyert bizonyítást. Az „idiopathiás” scoliosisok egy részében, valóban az aszimmetrikus izomfeszülés játszik döntő szerepet. A gerinc két oldalán eltérő az izmok rostösszetétele, s amelyik oldalon többségben vannak az I típusú rostok, arra húzzák el a gerincet¹⁸. A paravertebralis muscularis izomegyensúly felborulása egy olyan patológiai helyzetet eredményezhet, amely a posturalis reflexekkel és a test tömeg által okozott vertikális terheléssel együtt scolioticus görbületet hozhat létre⁶.

A XIX. Század elején születtek Lipcsében a **Weber testvérek** (Ernst Henrik, Wilhelm Eduard és Eduard Friedrich Wilhelm), akik az izomműködés biomechanikájával foglalkoztak. Leírták a csontok erőkar szerepét. Meghatározták a gravitációs középpont (súlypont) mozgását. 1827-ben Ernst publikálta az emberi gerinc mozgásával kapcsolatos biomechanikai megfigyeléseiket^{cit39}. Szintén németül jelentették meg 1836-ban az emberi járásról szóló monográfiájukat⁴⁰. Munkásságuk lényege az izomműködés mechanikájának tudományos alapokon történő leírása.

Christian Wilhelm Braune (1861–1917) és tanítványa **Otto Fischer** (1861–1917) is elsősorban a járás analízisével foglalkozott^{cit4}, ami miatt mégis itt említjük Őket az a súlypont mozgás közben való viselkedésével kapcsolatos tanulmányaik. Kísérleteik során külső koordináta rendszerhez viszonyították a vizsgált test viselkedését, valamint a mozgást 4 kamerás rendszerrel rögzítették és a fotókat analizálták^{cit7}. Ezzel az egyszerű kivitelezéssel és pontos analizálással példát mutattak arra, hogy egyszerű felszereltséggel, de megfelelően előkészített vizsgálatokkal és pontos analízissel is számottevő eredményeket lehet elérni.

Julius Wolff (1836-1902) berlini ortopéd sebész, aki doktori tézisé Langenbecknél írta a csontképződésről. 1890-ben nevezték ki a Berlieni Egyetemen az Ortopéd Tanszék Professzorának. 1892-ben publikálta könyvét a csont remodellációról, amelynek máig is használt legfőbb megállapításai a következők voltak: “minden a csont alakjában és / vagy funkciójában bekövetkezett változás meghatározott, a matematika törvényeinek megfelelő, mikro- majd secunder módon makrostrukturális elváltozásokat hoz létre (8. ábra). A struktúra a funkció fizikai megjelenése. Patológiai körülmények között a struktúra és a forma változik a megváltozott behatásoknak megfelelően”^{cit44}.



8. ábra. Wolff trajektoriális elmélete – talán a leggyakrabban ábrázolt helyen – a femur proximális részén

A XX. század elején, a tudományok egyre szélesebb és integráltabb alapokat kaptak, képzésük és művelésük is kezdett különválni (egyre kevesebb polihisztorral találkozhatunk), ugyanakkor különállóan lendületes fejlődésnek indultak. Az olyan területek, mint a biomechanika, az orvosok és mérnökök kollaborációján múlt és jelenleg is azon múlik. A publikáció általános elterjedésével, a tudás univerzálisan elérhetővé vált, amely az ismeretek exponenciális terjedéséhez és fejlődéséhez vezetett. A pozitív ösztönzők mellett azonban sajnálatos módon több negatív ok is vezetett a gerinc biomechanikai vizsgálataihoz és az arról szerzett tudás gyarapodásához.

Wood-Jones 1913-ban közölt vizsgálatokat az akasztásos halállal kapcsolatban, mégpedig arra az eredményre jutva, hogy a **submentális**an elhelyezett csomó hozza létre az ún. „hangman’s” törést, míg az oldalt (**subauricularis**) elhelyezett csomó koponyaalapi töréssel okoz halált – ez kegyeleti okokból volt fontos a haláltusa rövidítése miatt³³.

Sajnálatosan áldozatait a két Világháború és a motorizáció is szedte. A **maradandó sérülést szenvedett túlélők** többlet igényei szintén lendítettek a biomechanika előrehaladásán.

Jules Amar (1879-1935) biomechanikai vizsgálatokat végzett mozgássérült francia háborús veteránok járás és célzott feladat végrehajtása közben. 1914-ben publikálta franciául, majd 1920-ban angolul eredményeit¹.

A II. Világháború német bombázóinak katapultülése alkalmatlannak bizonyult arra, hogy menekülés és mentés során megfelelő védelemmel lássa el a pilóták törzsét (thoracolumbalis gerincsérülés **veszélyét okozva**), így az e témát tanulmányozó Siegfried Ruff vizsgálatai hozzájárultak a gerinc biomechanikájának az előrehaladásához^{cit34}. A Szövetségeseket is nagyban érintette ez a kérdés: Európában **Olof Perey** svéd és **Martin-Baker** angol szerzők, az USA-ban pedig a Légierő szakemberei végeztek kísérleteket a gerinc „ellenálló-képességének” a mérésére. A Detroit-i Wayne State University-n **Lissner HR** (1908-1965) mérnök és **Gurdjian ES** (1900-1985) idegsebész kooperációjából számos, a gerinc biomechanikájával foglalkozó tanulmány született²⁴.

Friedrich Pauwels (1885-1980) nevével elsősorban a csípő biomemechanikája kapcsán találkozhatunk, ugyanakkor **az általa** szisztematikusan kidolgozott musculoskeletal mechanika elvei máshol is megállják a helyüket. A csont és izmok közötti interakciókat tanulmányozva írta le a spongiosa nagyobb alkalmazkodóképességét, amely lehetővé teszi a csigolyáknak a flexióhoz és rotációhoz való jobb alkalmazkodást¹⁵.

Nikolai Aleksandrovich Bernstein (1896-1966) orosz tudós, aki a központi idegrendszer mozgást szabályozó működését tanulmányozta, hangsúlyt fektetve a biomechanikai igények támasztotta exogén faktorokhoz való alkalmazkodás szükségességéhez. Pavlovval ellentétes nézetei miatt támadták, kísérletei abbahagyására kényszerült²². Modellezései során bebizonyította, hogy az élő

test súlypontja megközelítőleg a térfogati középpontjában van⁴¹. Kutatásai egyik érdekes vetülete a futók súlypontjának vizsgálata, amelyből levont következtetéseit a gyakorlati edzésmódszerekben is alkalmazták.

Sir Frank Wild Holdsworth (1904-1969) vezette be 1962-ben az un. „két-oszlop” gerinc modellt. Munkahelyén sok gerincsérülés fordult elő és több mint 1000 neurológiai szövődménnyel kapcsolt gerinctörés elemzése alapján differenciálta az elülső (ligamentum longitudinale anterius, csigolya test és ligamentum longitudinale posterius) és a hátsó oszlopot (pediculusok, lamina, processus spinosus, kisizületek és a környező szalagok), amelyek közül utóbbi integritásának sérülését instabilitással párosította²⁸.

Francis Denis több mint 412 gerinctörés röntgenének átnézése után felismerte, hogy az un. „burst” törés instabil és **Holdsworth** klasszifikációját kiegészítette a középső oszloppal is: a csigolyatest, valamint az anulus fibrosus hátsó része, illetve a ligamentum longitudinale posterius. A három oszlopból kettő sérülése instabilitást jelent⁸.

A XX. század közepére tehető egy új korszak megjelenése: Biomechanikai Laboratóriumok alapítása, amelyekben szervezett keretek között folyik ezen integrált szakterület tudományos kutatása. Ezekben az újonnan alapított laboratóriumokban már megfelelő az „utánpótlás-képzés” is és ennek köszönhető, hogy a század 50-es, 60-as éveiben mind mennyiségileg, mind minőségileg javul a tudományos publikálás.

Russell Plato Schwartz (1894-1965), a Rochesteri Egyetemen 1926-ban rendezte be „Myodynamikai” vagy mai szóhasználatnál élve járás laboratóriumát, amely az első jegyzett, a mozgást vizuális rögzítéssel elemző laboratórium volt. Profilja természetesen a járás volt, de az 1940-50-es évek USA-beli igényeihez alkalmazkodva poliomyelitises és ICP-s gyermekek mozgáselemzésével és kezelésével is foglalkozott²⁷.

Carl Hirsch (1913-1973) svéd ortopéd sebész, aki manuális illetve intézetvezetői tevékenysége mellett, több mint 20 évig irányította biomechanikai laboratóriumát, ahol a kor vezető ortopéd sebészei és mérnökei is megfordultak. Rendkívül termékeny szakirodalmi publikációs aktivitásában kiemelt szerep jutott a gerincnek¹², őt tekintjük a tudományosan megalapozott spinális biomechanika megteremtőjének.

Lysell volt az első, aki in vitro (ex vivo) stereoradiographiával vizsgálta a csigolyák egymáshoz való háromdimenziós elmozdulását²¹.

A progresszíven gyarapodó tudásanyag egyre újabb vívmányait élvezhetjük és alkalmazhatjuk. Ilyen például a sem a graduális, sem a postgraduális orvosi / szakorvosi képzésben nem szereplő, de a biomechanika vívmányait alkalmazó műhelyek munkájában nélkülözhetetlen un. végeselem-módszer (finite element method = FEM). A FEM használata előtt a mérnöki gyakorlatban a rugalmas anyagból készült, különböző környezetben „működő” és anyagi összetételű testek viselkedésének leírásához a Newton-i kinematika-dinamika már nem volt elegendő. Szükség volt a különböző anyagszerkezeteket, a kialakuló alakváltozást, elmozdulást, a geometriai alakot, a kölcsönhatást és a környezeti hatást szintetizáló modellek bevezetésére³⁰. A XX. század elején kidolgozott un. „variációs elvek” ezt a célt szolgálták, és ezek alkalmazását is forradalmasította a számítógépek megjelenése⁴².

Courant volt az első 1943-ban, aki a numerikus analízis és a minimalizáció módszerét használta a variációs eltérő megközelítésére^{cit5}. 1956-ban **Turner** és munkatársai sík rugalmasságtani feladat megoldása során altartományokra osztotta fel az „elmozdulás mezőt”^{cit38}. 1958-ban készült el az első modell a gerincről, a már korábban is említett katapultülések okozta thoracolumbalis gerincsérülések vizsgálatának modellezése során^{cit11}. A végeselem-módszer elnevezés Turner munkatár-

sa, **Clough** alkotta 1960-ban³⁰. A számítástechnikai háttér igénye miatt az 1970-es években a módszert a légierő és a hadiipar használta elsősorban. Ugyanakkor a számítógépek és programjaik elterjedésével az orvosi biomechanika számára is elérhetővé, mindennapi alkalmazási területté vált¹⁰.

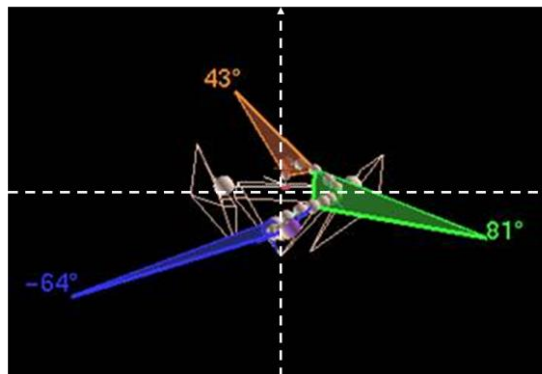
Ezzel párhuzamosan fejlődni kezdenek az optimum-kereső algoritmusok: egyszerűbb nem lineáris, többváltozós és multidiszciplináris optimalizálási feladatok megoldására.

Az említett két módszer (véges elem és multidiszciplináris optimalizálás) egyre nagyobb, bonyolultabb feladatokra való alkalmazása és egyre szélesebb körben való elterjedése figyelhető meg, majd a számítástechnika megfelelő szintjén elindul ezek összekapcsolódása, olyan optimumkeresési feladatok megoldásával, melyekben a feltételek vagy a célfüggvény kiértékelése végelem analízis útján történik. Erre az első példák az 1990-es évek elején találhatók. Az ezt követő években ez a módszer is elterjed olyannyira, hogy az évtized közepén már olyan problémákat oldanak így meg, melyeknél többféle végelem számítás szükséges az optimalizálás során. Így jön létre a multidiszciplináris optimalizálás tudománya, 1994-ben pedig megalakul az ISSMO: International Society of Structural and Multidisciplinary Optimization (Szerkezeti és Multidiszciplináris Optimalizálás Nemzetközi Szervezete).

A multidiszciplináris optimalizálás módszere napjainkban is egyre szélesebb körben terjed és a mérnöki gyakorlat egyre több területén lehetséges az alkalmazása. Ilyen lehetséges alkalmazási terület a biomechanika: anatómia - a csontok, ízületek kialakításának, terhelésének és viselkedésének figyelembevétele, virtuális műtétek, protézisek, orvosi műszerek tervezéséhez.

A scoliosis leírásában, osztályozásában és a műtéti tervezésben a fenti vívmányoknak egyre nagyobb szerep jut. Egy példán keresztül szeretnénk szemléltetni a számítástechnikai lehetőségek alkalmazását a mindennapi ortopéd sebészi gyakorlatban:

A scoliosis deformitásának komponensei a hagyományos (sagittalis, coronalis és axiális) koordináta rendszerekben ugyan leírhatóak, de egyik síkban sem jelenik meg „tisztán” 2 dimenziós projekció, ugyanis hogy a deformitás síkjai ezektől eltérnek és ezek gerinc szakaszonként változnak³¹. A téma jelentősége miatt a Scoliosis Research Society (SRS) által létrehozott munkacsoport 3 dimenziós rekonstrukciós algoritmussal egy „egyszerűsített” 3D klasszifikációt vezetett be²⁰. Az eredmények szintézisére és szimplifikálására létrehoztak egy szoftvert (amely Leonardo da Vinci-ről kapta a nevét): egy kétdimenziós koordináta rendszerben a görbületek apicalis csigolyáit úgy ábrázolják, hogy a zero ponttól mért horizontális (x tengely) távolsága korrelál a görbület coronális-, a verticális távolsága (y tengely) pedig a sagittalis eltéréssel (9. ábra). Ábrázolják továbbá az apicalis csigolyák transversalis rotációját is³⁶.



9. ábra. Szemléltető ábra a da Vinci szoftver által készített rekonstrukcióra. (Scoliosis Research Society 3D Scoliosis bizottságának reprodukciója).

1. Amar J, Butterworth ME, Wright GE. The human motor, or the scientific foundation of labour and industry. New York: G. Routledge, 1920.
2. Benini A, Bonar SK. Andreas Vesalius: 1514-1564. *Spine (Phila Pa 1976)* 1996 Jun 1;21(11):1388-93.
3. Benini A, DeLeo JA. Rene Descartes' Physiology of Pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999 Oct 15;24(20):2115-9.
4. Braune W, Fischer O. Human gait: Trial on loaded and unloaded humans [in German]. *Saech Gesellsch Wissensch* 1895;21:153–322. In: Baker R. The history of gait analysis before the advent of modern computers. *Gait Posture* 2007 Sep;26(3):331-42.
5. Courant R. Variational methods for the solution of problem of equilibrium and vibrations, *Bull Am Math Soc* 1943;49:1-23. In: Páczelt I, Szabó T, Baksa A. A végeelem-módszer alapjai. Értékünk az Ember, Humán erőforrás-fejlesztés operatív program (HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat támogatásával). Miskolci Egyetem: online kiadvány, 2007. Forrás: <http://www.mech.uni-miskolc.hu/~paczelt/notes/VEM-ME-jegyzet.pdf> Belépés: 2011.10.20.
6. Csernátó Z, Szepesi K, Gáspár L, Dezső Zs, Jónás Z. The rotational preconstraint. *Medical Hypotheses* 2000 Feb;54(2):203-6.
7. Csernátó Z. Az orvosi biomechanika története. *Biomechanica Hungarica* 2008;1(1):63-75.
8. Denis F. Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. *Clin Orthop Relat Res* 1984 Oct;189:65-76.
9. Dunn PM. Francis Glisson (1597–1677) and the “discovery” of rickets. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 1998;78:F154–F155.
10. Goel VK, Gilbertson LG. Applications of the finite method to thoracolumbar spinal research—past, present, and future. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995 Aug 1;20(15):1719–1727.
11. Hess JL, Lombard CV. Theoretical investigations of dynamic response of man to high vertical accelerations. *J Aviation Med* 1958;29:66. In: Naderi S, Andalkar N, Benzel EC. History of spine biomechanics: part II - from the Renaissance to the 20th century. *Neurosurgery* 2007 Feb;60(2):392-404.
12. Hirsch C. The classic. Exposure of ruptured lumbar discs: a technical discussion.[report]. *Clin Orthop Relat Res* 1981 Jan-Feb;154:5-8.
13. Jose AM. Anatomy and Leonardo da Vinci. *Yale J Biol Med* 2001 May-Jun;74(3):185-95.
14. Józsa L. Leonardo da Vinci mozgás- és járásvizsgálatai. *Biomechanica Hungarica* 2009;2(2):49-52.
15. Khurana JS (ed). Bone Pathology. Second Edition. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Humana Press, Springer, 2009:71.
16. Kirkup JR. Nicolas Andry and 250 years of orthopaedy. *J Bone Joint Surg Br* 1991 May;73(3):361-2.
17. Klyve D, Stemkoski L, Tou E. The works of Leonhard Euler online. Forrás: <http://www.math.dartmouth.edu/~euler/> Belépés: 2011.10.20.
18. Kouwenhoven JW, Castelein RM. The pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis: review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008 Dec 15;33(26):2898-908.
19. Kowalski RJ, Ferrara L, Benzel E. Biomechanics of the spine. *Neurosurgery quarterly* 2005;15(1):42-59.
20. Labelle H, Aubin CE, Jackson R, Lenke L, Newton P, Parent S. Seeing the spine in 3D: how will it change what we do? *J Pediatr Orthop* 2011 Jan-Feb;31(1 Suppl):S37-45.
21. Lysell E. Motion in the cervical spine. An Experimental Study on Autopsy Specimen. *Acta Orthop Scand Suppl* 1969;Suppl 123:7.
22. Meijer OG, Bruijn SM. The loyal dissident: N.A. Bernstein and the double-edged sword of Stalinism. *J Hist Neurosci* 2007 Jan-Jun;16(1-2):206-24.

23. Molnár Sz, Skapinyecz J, Csernátó Z. A gerincdeformitás kezelése Nicolas Andry előtt. *Biomechanica Hungarica* 2011;4(1):61-66.
24. Naderi S, Andalkar N, Benzel EC. History of spine biomechanics: part II - from the Renaissance to the 20th century. *Neurosurgery* 2007 Feb;60(2):392-404.
25. Newton I. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Project Gutenberg: ebook. 2009 March 2;13. Forrás: <http://www.gutenberg.org/ebooks/28233> Belépés: 2011.10.20.
26. No author given. Kihajlás. 2011.03.09. Forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Kihajlás> Belépés: 2011.10.20.
27. No author given. Papers of R. Plato Schwartz. Forrás: http://www.urmc.rochester.edu/hslt/miner/historical_services/archives/Faculty/schwartz.cfm Belépés: 2011.10.20.
28. No author given. Sir Frank Wild Holdsworth 1904-1969. *J Bone Joint Surg Br* 1970;Feb;52(1):168-70.
29. Pach J. A megtestesült analízis – Leonhard Euler. *Ponticulus Hungaricus* 2004 Jun;8(6). Forrás: <http://members.iif.hu/visontay/ponticulus/rovatok/limes/euler.html> Belépés: 2011.10.20.
30. Páczelt I, Szabó T, Baksa A. A végeelem-módszer alapjai. Értékünk az Ember, Humánerőforrás-fejlesztés operatív program (HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat támogatásával). Miskolci Egyetem: online kiadvány, 2007. Forrás: <http://www.mech.uni-miskolc.hu/~paczelt/notes/VEM-ME-jegyzet.pdf> Belépés: 2011.10.20.
31. Perdriolle R, Le Borgne P, Dansereau J, de Guise J, Labelle H. Idiopathic scoliosis in three dimensions: a succession of two-dimensional deformities? *Spine (Phila Pa 1976)* 2001 Dec 15;26(24):2719-26.
32. Ponseti IV. History of Orthopaedic Surgery. *Iowa Orthop J* 1991;11:59–64.
33. Rayes M, Mittal M, Rengachary SS, Mittal S. Hangman's fracture: a historical and biomechanical perspective. *J Neurosurg Spine* 2011 Feb;14(2):198-208.
34. Ruff S. Brief acceleration: less than one second, in german aviation medicine. In: World War II. Washington D.C.: United States Government printing office, 1950: 584–597. In: Naderi S, Andalkar N, Benzel EC. History of spine biomechanics: part II - from the Renaissance to the 20th century. *Neurosurgery* 2007 Feb;60(2):392-404.
35. Sanan A, Rengachary SS. The history of spinal biomechanics. *Neurosurgery* 1996 Oct;39(4):657-68.
36. Sangole AP, Aubin CE, Labelle H et al. Three-dimensional classification of thoracic scoliotic curves. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009 Jan 1;34(1):91–99.
37. Tetmajer L. Méthodes d'essais et résultats de recherches. Sur les propriétés de résistance du fer et autres métaux. Communications de l'École Polytechnique Fédérale. Zürich, Suisse. 1904.
38. Turner MJ, Clough RJ, Martin HC, Topp LJ. Stiffness and deflection analysis of complex structures, *J Aeronaut Sci* 1956;23(9):805-823. In: Páczelt I, Szabó T, Baksa A. A végeelem-módszer alapjai. Értékünk az Ember, Humánerőforrás-fejlesztés operatív program (HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat támogatásával). Miskolci Egyetem: online kiadvány, 2007. Forrás: <http://www.mech.uni-miskolc.hu/~paczelt/notes/VEM-ME-jegyzet.pdf> Belépés: 2011.10.20.
39. Weber EH. Anatomisch-physiologische Untersuchung über einige Einrichtungen in Mechanismus der menschlichen Wirbelsäule. *Arch Anat Physiol* 1827;1:240-271. In: Lysell E. Motion in the cervical spine. An experimental study on autopsy specimen. *Acta Orthop Scand Suppl* 1969;123:7.
40. Weber W, Weber E. Mechanics of the Human Walking Apparatus [in German]. Böttingen: Dietrich, 1836. Reprinted [in English]: Springer-Verlag, 1992.

41. Whiting HTA (ed). Human Motor Action: Bernstein Reassessed (Advances in Psychology). Amsterdam, New York: Elsevier Science Ltd, 1984.
42. Widas P. Introduction to finite element analysis. Virginia Tech Material Science and Engineering: online submission, 1997. Forrás:
http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/97ClassProj/num/widas/history.html
Belépés: 2011.10.20.
43. Williams AN, Williams J. 'Proper to the duty of a surgeon': Ambroise Paré and sixteenth century paediatric surgery. J R Soc Med 2004;97(9):446–449.
44. Wolff J. The Law of Bone Remodeling [in German]. Berlin: A Hirschwald, 1892. In: Huiskes R. If bone is the answer, then what is the question? J Anat 200;197(Pt 2):145-56.
45. Woo SL. Contribution of biomechanics to clinical practice in orthopaedics. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2004;7:5455.

Dr. Molnár Szabolcs Lajos

Hospital Ernest Lluch, Calatayud, Aragon, Spanyolország.

E-50300 Calatayud, Ctra Sagunto Burgos km. 254, Aragon, Spanyolország.

Tf: +34 976 880 964